

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persimpangan

Persimpangan adalah simpul dalam jaringan transportasi dimana dua atau lebih ruas jalan bertemu, di sini arus lalu lintas mengalami konflik. Untuk mengendalikan konflik ini ditetapkan aturan lalu lintas untuk menetapkan siapa yang mempunyai hak terlebih dahulu untuk menggunakan persimpangan. Lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya. Olehnya itu persimpangan merupakan faktor yang paling penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan pada suatu jaringan jalan khususnya di daerah-daerah perkotaan. (Wikipedia)

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993 Tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan, persimpangan adalah pertemuan atau percabangan jalan, baik sebidang maupun yang tidak sebidang. Termasuk dalam pengertian persimpangan adalah pertigaan (simpang tiga), perempatan (simpang empat), perlimaan (simpang lima), persimpangan bentuk bundaran, dan persimpangan tidak sebidang, namu tidak termasuk persilangan sebidang dengan rel kereta api.

Persimpangan adalah bagian terpenting dari sistem jaringan jalan, yang secara umum kapasitas persimpangan dapat dikontrol dengan mengendalikan volume lalu lintas dalam sistem jaringan tersebut. Pada prinsipnya persimpangan adalah pertemuan dua atau lebih jaringan jalan. (Alamsyah, 2005)

Masalah-masalah yang terkait pada persimpangan adalah:

- a. Volume dan kapasitas (secara langsung mempengaruhi hambatan).
- b. Desain geometrik dan kebebasan pandangan.
- c. Perilaku lalu lintas dan panjang antrian.
- d. Kecepatan.
- e. Pengaturan lampu jalan.
- f. Kecelakaan dan keselamatan.
- g. Parkir.

2.2 Jenis-Jenis Persimpangan

Secara garis besarnya persimpangan terbagi dalam 2 bagian:

1. Persimpangan sebidang

Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalan yang dapat berlawanan dengan lalu lintas lainnya.

Pada persimpangan sebidang menurut jenis fasilitas pengatur lalu lintasnya dipisahkan menjadi 2 (dua) bagian:

- a. Simpang bersinyal (*signalised intersection*) adalah persimpangan jalan yang pergerakan atau arus lalu lintas dari setiap pendekatnya diatur oleh lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergilir.
- b. Simpang tak bersinyal (*unsignalised intersection*) adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya.

2. Persimpangan tak sebidang

Persimpangan tak sebidang sebaiknya yaitu memisah-misahkan lalu lintas pada jalur yang berbeda sedemikian rupa sehingga persimpangan jalur dari kendaraan-kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan-kendaraan memisah dari atau bergabung menjadi satu jalur gerak yang sama, contoh jalan layang. Karena kebutuhan untuk menyediakan gerakan membelok tanpa berpotongan, maka dibutuhkan tikungan yang besar dan sulit serta biayanya yang mahal. Pertemuan jalan tidak sebidang juga membutuhkan daerah yang luas serta penempatan dan tata letaknya sangat dipengaruhi oleh topografi.

2.3 Pengaturan Persimpangan

Lalu lintas di dalam Undang-undang No 22 Tahun 2009 didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, sedang yang dimaksud dengan ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung.

Tujuan utama dari pengaturan lalu lintas umumnya adalah untuk menjaga keselamatan arus lalu lintas dengan memberikan petunjuk-petunjuk yang jelas dan

terarah, tidak menimbulkan keraguan. Pengaturan lalu lintas di simpang dapat dicapai dengan menggunakan lampu lalu lintas, marka, dan rambu-rambu yang mengatur, mengarahkan, dan memperingati serta pulau-pulau lalu lintas. (Alamsyah, 2005)

Persimpangan jalan adalah sumber konflik lalu lintas. Satu perempatan jalan sebidang menghasilkan 16 titik konflik. Oleh karena itu, upaya memperlancar arus lalu lintas adalah dengan meniadakan titik konflik ini, misalnya dengan membangun pulau lalu lintas atau bundaran, memasang lampu lalu lintas yang mengatur giliran gerak kendaraan, menerapkan arus searah, menerapkan larangan belok kanan, atau membangun simpang susun. (Warpani, 2002)

Masalah-masalah yang ada di persimpangan jalan seperti terjadinya kemacetan dapat diatasi dengan cara meningkatkan kapasitas persimpangan, mengurangi volume arus lalu lintas, atau melakukan pengendalian/pengaturan arus lalu lintas yang ada. Untuk meningkatkan kapasitas simpang umumnya dilakukan perubahan rancangan simpang seperti pelebaran jalan, dengan cara ini akan membutuhkan biaya yang besar serta terbentur pada masalah pembebasan lahan. Pengurangan arus lalu lintas yang memasuki persimpangan ini dapat dilakukan dengan mengalihkan arus lalu lintas yang memasuki persimpangan ini dengan mengalihkan arus lalu lintas ke rute-rute alin, cara ini akan meningkatkan jarak perjalanan. Alternatif lain di dalam memecahkan masalah kemacetan di persimpangan adalah dengan melakukan pengaturan/pengendalian arus lalu lintas yang melewati persimpangan tersebut, cara ini dipandang lebih mudah dan ekonomis. (Hariyanto, 2004)

Kriteria bahwa suatu persimpangan sudah harus menggunakan alat pemberi isyarat lalu lintas menurut Ditjen Perhubungan Jalan, 1996 adalah:

1. arus minimal lalu lintas yang menggunakan rata-rata di atas 750 kendaraan/jam selama 8 jam dalam sehari;
2. atau bila waktu menunggu/tundaan rata-rata kendaraan di persimpangan telah melampaui 30 detik;

3. atau persimpangan digunakan oleh rata-rata lebih dari 175 pejalan kaki/jam selama 8 jam dalam sehari;
4. atau sering terjadi kecelakaan pada persimpangan yang bersangkutan;
5. atau merupakan kombinasi dari sebab-sebab yang disebutkan di atas.

2.4 Tingkat Pelayanan (*Level Of Service*)

Tingkat pelayanan (*level of service*) adalah ukuran kinerja ruas jalan atau simpang jalan yang dihitung berdasarkan tingkat penggunaan jalan, kecepatan, kepadatan dan hambatan yang terjadi. Dalam bentuk matematis tingkat pelayanan jalan ditunjukkan dengan V/C (V = volume lalu lintas, C = kapasitas jalan). Tingkat pelayanan dikategorikan dari yang terbaik (A) sampai yang terburuk (tingkat pelayanan F). (Wikibuku)

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 14 Tahun 2006 tentang Karakteristik Tingkat Pelayanan atau *Level of Services* (LOS) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Karakteristik Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan (LOS)	Karakteristik	Batas Lingkup V/C
A	Kondisi arus bebas dengan kecepatan tinggi, pengemudi memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan	0,0 – 0,20
B	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan	0,21 – 0,44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan, pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan	0,45 – 0,74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan, Q/C masih dapat ditolerir	0,75 – 0,84
E	Volume lalu lintas mendekati/berada pada kapasitas arus tidak stabil, terkadang berhenti	0,85 – 1,00
F	Arus yang dipaksakan/macet, kecepatan rendah, V di atas kapasitas, antrian panjang dan terjadi hambatan-hambatan yang besar	> 1,00

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 14, 2006

2.5 Simpang Tak Bersinyal

Jenis persimpangan ini mengalirkan arus lalu lintas dari kaki persimpangan apa adanya tanpa pengaturan. Biasanya persimpangan jenis ini terdapat pada jalan-jalan kompleks perumahan atau pada jalan lokal di dalam kota.

2.5.1 Kapasitas

Kapasitas total untuk seluruh lengan simpang adalah hasil perkalian antara kapasitas dasar (C_0) yaitu kapasitas pada kondisi tertentu (ideal) dan faktor-faktor penyesuaian (F), dengan memperhitungkan pengaruh kondisi lapangan terhadap kapasitas.

Bentuk model kapasitas menjadi sebagai berikut:

$$C = C_0 \times F_W \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI} \quad (2.1)$$

Variabel-variabel masukan untuk perkiraan kapasitas (smp/jam) dengan menggunakan model tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Ringkasan Variabel-variabel Masukan Model Kapasitas

Tipe Variabel	Uraian Variabel dan Nama Masukan		Faktor Model
Geometri	Tipe simpang	IT	F_W
	Lebar rata-rata pendekat	W_I	
	Tipe median jalan utama	M	
Lingkungan	Kelas ukuran kota	CS	F_{CS}
	Tipe lingkungan jalan	RE	
	Hambatan samping	SF	
Lalu lintas	Rasio kend tak bermotor	P_{UM}	F_{RSU}
	Rasio belok-kiri	P_{LT}	F_{LT}
	Rasio belok-kanan	P_{RT}	F_{RT}
	Rasio arus jalan minor	Q_{MI}/Q_{TOT}	F_{MI}

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.1. Tipe Simpang

Tipe simpang menentukan jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada jalan utama dan jalan minor pada simpang tersebut dengan kode tiga angka, lihat tabel 2.3, jumlah lengan adalah jumlah lengan dengan lalu lintas masuk atau keluar atau keduanya.

Tabel 2.3 Kode Tipe Simpang

Kode IT	Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Utama
322	3	2	2
324	3	2	4
342	3	4	2
422	4	2	2
424	4	2	4

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Dalam tabel di atas tidak terdapat simpang tak bersinyal yang kedua jalan utama dan jalan minornya mempunyai empat lajur, yaitu tipe simpang 344 dan 444, karena tipe simpang ini jarang dijumpai. Jika analisa kapasitas harus dikerjakan untuk simpang seperti ini, maka simpang tersebut dianggap sebagai 324 dan 424.

2.5.1.2. Kapasitas Dasar (C_0)

Nilai kapasitas dasar didapatkan dari tabel 2.4, variabel masukan adalah tipe simpang.

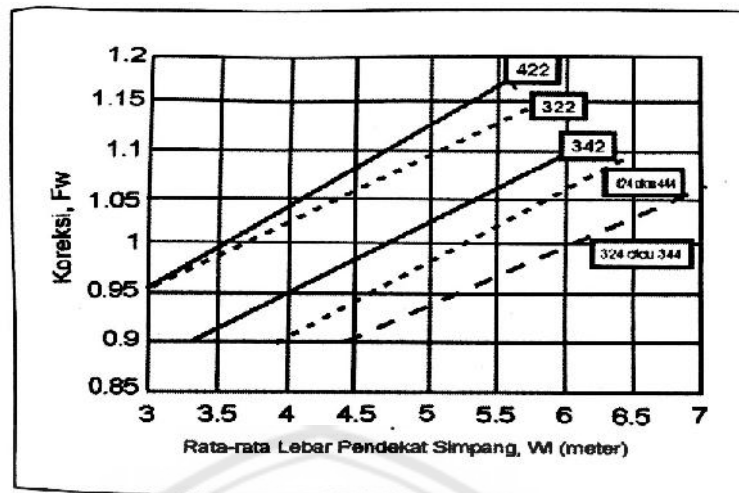
Tabel 2.4 Kapasitas Dasar Menurut Tipe Simpang

Tipe Simpang IT	Kapasitas Dasar smp/jam
322	2700
342	2900
324 atau 344	3200
422	2900
424 atau 444	3400

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.3. Faktor Penyesuaian Lebar Masuk (F_w)

Penyesuaian lebar pendekat (F_w) diperoleh dari gambar 2.1 , variabel masukan adalah lebar rata-rata semua pendekat W , dan tipe simpang IT. Batas nilai yang diberikan dalam gambar adalah rentang dasar empiris dari manual.



Gambar 2.1 Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (F_w)

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.4. Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (F_M)

Faktor penyesuaian median jalan utama diperoleh dengan menggunakan tabel 2.5. Penyesuaian hanya digunakan untuk jalan utama dengan 4 lajur.

Tabel 2.5 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (F_M)

Uraian	Tipe M	Faktor Penyesuaian Median (F_M)
Tidak ada median jalan utama	Tidak ada	1,00
Ada median jalan utama, lebar < 3m	Sempit	1,05
Ada median jalan utama, lebar ≥ 3m	Lebar	1,20

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.5. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Faktor penyesuaian ukuran kota ditentukan dari tabel 2.6, variabel masukan adalah ukuran kota CS.

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Ukuran Kota CS	Penduduk Juta	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	> 3,0	1,05

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.6. Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping Dan Kendaraan Tak Bermotor (F_{RSU})

Faktor penyesuaian tipe lingkungan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor, F_{RSU} dihitung dengan menggunakan tabel 2.7, variabel masukan adalah tipe lingkungan jalan RE, kelas hambatan samping SF dan rasio kendaraan tak bermotor UM/MV.

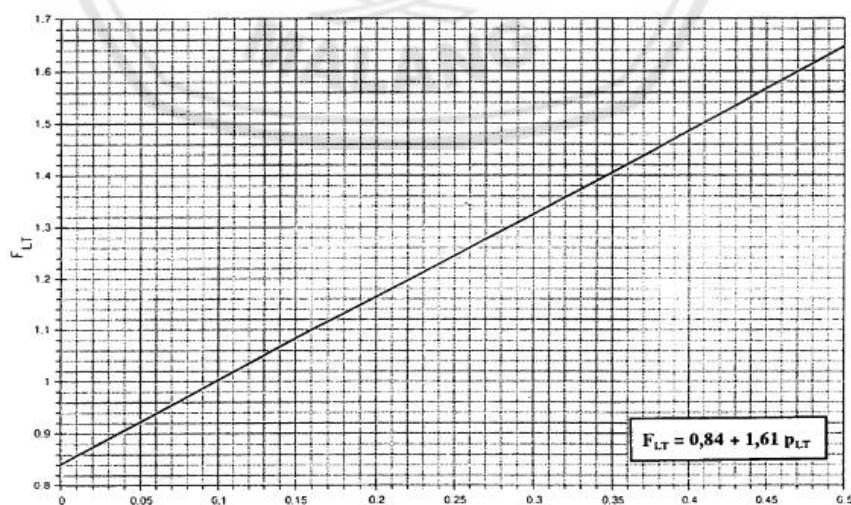
Tabel 2.7 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping Dan Kendaraan Tak Bermotor (F_{RSU})

Kelas tipe lingkungan jalan RE	Kelas hambatan samping SF	Rasio kendaraan tak bermotor P_{UM}					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Komersial	tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Permukiman	tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	tinggi/sedang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.1.7. Faktor Penyesuaian % Belok Kiri (F_{LT})

Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan dari gambar 2.2, variabel masukan adalah belok kiri P_{LT} .



Gambar 2.2 Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

$$P_{LT} = LT/Q_{TOTAL} \quad (2.2)$$

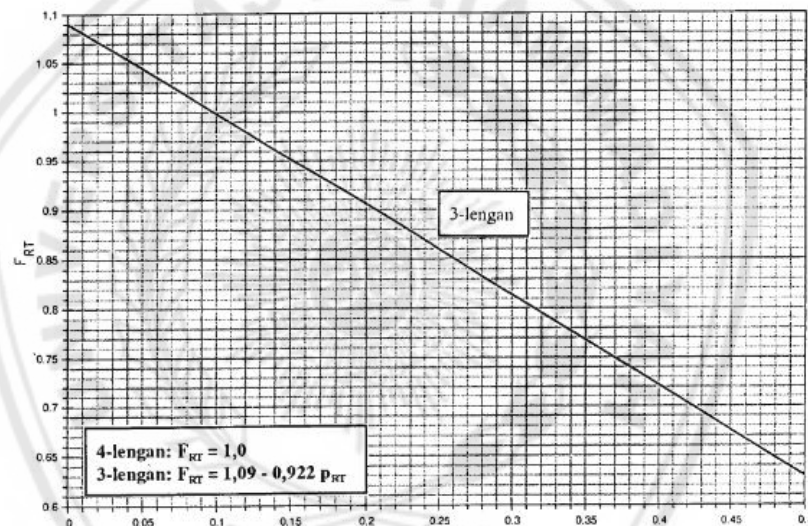
dimana :

LT = arus belok kiri (kend/jam)

Q_{TOTAL} = arus kendaraan total (kend/jam)

2.5.1.8. Faktor Penyesuaian % Belok Kanan (F_{RT})

Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan dari gambar 2.3 di bawah untuk simpang 3 lengan. Variabel masukan adalah belok kanan P_{RT} . Batas nilai yang diberikan untuk P_{RT} pada gambar adalah rentang dasar empiris dari manual. Untuk simpang 4 lengan $F_{RT} = 1,0$.



Gambar 2.3 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT})

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

$$P_{RT} = RT/Q_{TOTAL} \quad (2.3)$$

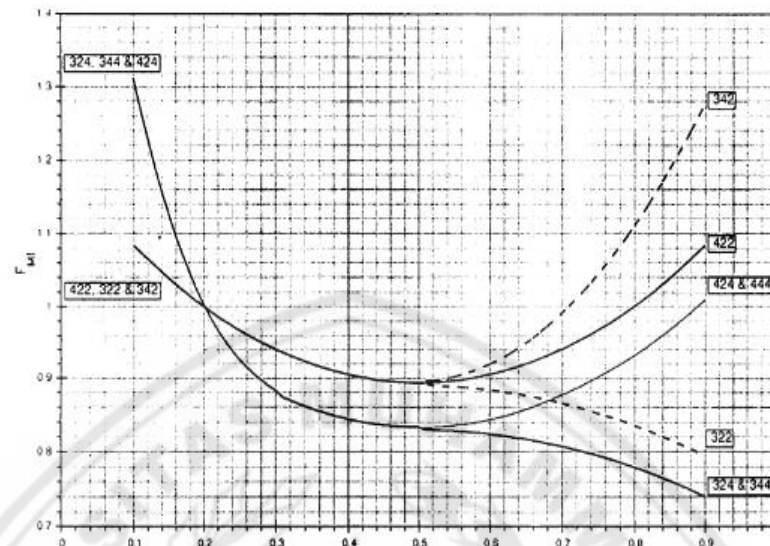
dimana : RT = arus kendaraan belok kanan (kend/jam)

Q_{TOTAL} = arus kendaraan total (kend/jam)

2.5.1.9. Faktor Penyesuaian Rasio Arus Jalan Minor (F_{MI})

Faktor penyesuaian rasio arus jalan minor ditentukan dari gambar 2.4 di bawah. Variabel masukan adalah rasio arus jalan minor P_{MI} dan tipe simpang

IT. Batas nilai yang diberikan untuk P_{MI} pada gambar adalah rentang dasar empiris dari manual.



Gambar 2.4 Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor (F_{MI})

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Tabel 2.8 Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor (F_{MI})

IT	F_{MI}	P_{MI}
422	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1 – 0,9
424	$16,6 \times P_{MI}^4 - 33,3 \times P_{MI}^3 + 25,3 \times P_{MI}^2 - 8,6 \times P_{MI} + 1,95$	0,1 – 0,3
444	$1,11 \times P_{MI}^2 - 1,11 \times P_{MI} + 1,11$	0,3 – 0,9
322	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$-0,595 \times P_{MI}^2 + 0,595 \times P_{MI}^3 + 0,74$	0,5 – 0,9
342	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$2,38 \times P_{MI}^2 - 2,38 \times P_{MI} + 1,49$	0,5 – 0,9
324	$16,6 \times P_{MI}^4 - 33,3 \times P_{MI}^3 + 25,3 \times P_{MI}^2 - 8,6 \times P_{MI} + 1,95$	0,1 – 0,3
344	$1,11 \times P_{MI}^2 - 1,11 \times P_{MI} + 1,11$	0,3 – 0,5
	$-0,555 \times P_{MI}^2 + 0,555 \times P_{MI}^3 + 0,69$	0,5 – 0,9

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

$$P_{MI} = Q_{MINOR}/Q_{TOTAL} \quad (2.4)$$

dimana :

P_{MI} = rasio arus jalan minor

Q_{MINOR} = arus kendaraan jalan minor (smp/jam)

Q_{TOTAL} = arus kendaraan total dari jalan minor+mayor (smp/jam)

2.5.2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan untuk seluruh simpang (DS) dihitung sebagai berikut:

$$DS = Q_{smp} / C \quad (2.5)$$

dimana :

Q_{smp} = Arus total (smp/jam) dihitung sebagai berikut:

$$Q_{smp} = Q_{kend} \times F_{smp}$$

F_{smp} = Faktor smp, dihitung sebagai berikut:

$$F_{smp} = (emp_{LV} \times LV\% + emp_{HV} \times HV\% + emp_{MC} \times MC\%) / 100$$

dimana emp_{LV} , $LV\%$, emp_{HV} , $HV\%$, emp_{MC} , $MC\%$ adalah emp dan komposisi lalu lintas untuk kendaraan ringan, kendaraan berat dan sepeda motor

C = Kapasitas (smp/jam)

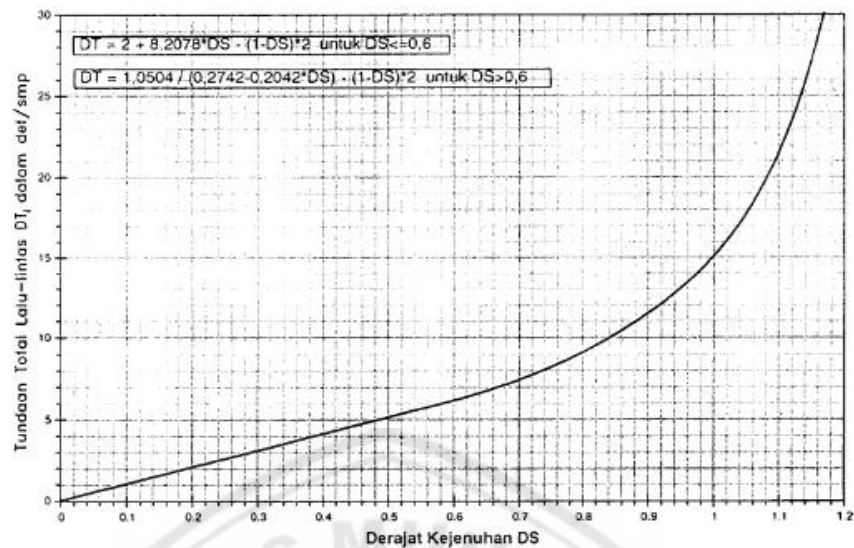
2.5.3. Tundaan

Tundaan lalu lintas simpang (simpang tak bersinyal, simpang bersinyal dan bundaran) dalam manual adalah berdasarkan anggapan-anggapan sebagai berikut :

- Kecepatan referensi 40 km/jam.
- Kecepatan belok kendaraan tak-terhenti 10 km/jam.
- Tingkat percepatan dan perlambatan 1.5 m/det^2 .
- Kendaraan terhenti mengurangi kecepatan untuk menghindari tundaan perlambatan sehingga hanya menimbulkan tundaan percepatan.

2.5.3.1. Tundaan Lalu Lintas Simpang (DT_I)

Tundaan lalu lintas simpang adalah tundaan lalu lintas, rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang. DT_I ditentukan dari kurva empiris antara DT_I dan DS.

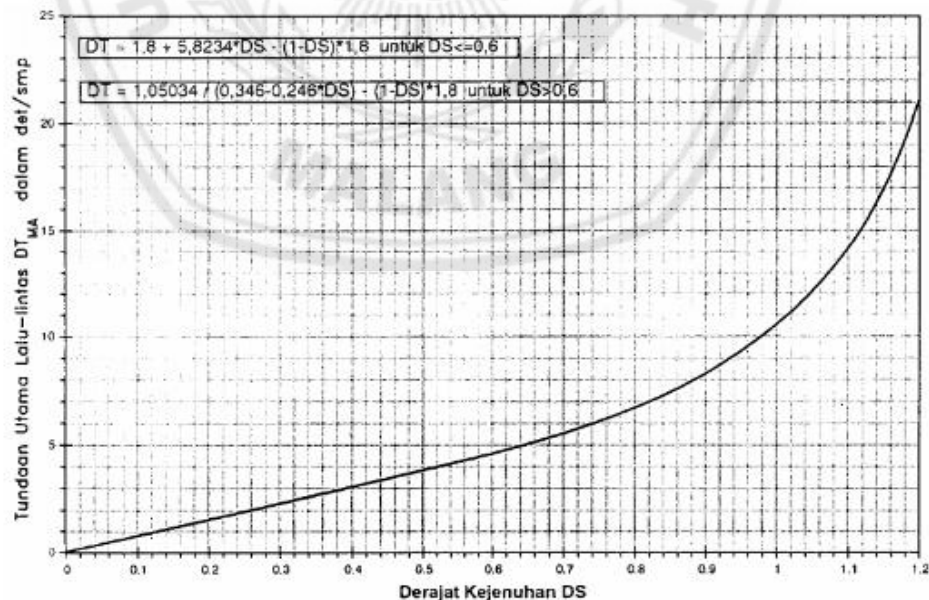


Gambar 2.5 Tundaan Lalu Lintas Simpang VS DS

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.5.3.2. Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama (DT_{MA})

Tundaan lalu lintas jalan utama adalah tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk persimpangan dari jalan utama. DT_{MA} ditentukan dari kurva empiris antara DT_{MA} dan DS.



Gambar 2.6 Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama VS DS

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga

2.5.3.3. Penentuan Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (DT_{MI})

Tundaan lalu lintas jalan minor rata-rata, ditentukan berdasarkan tundaan simpang rata-rata dan tundaan jalan utama rata-rata.

$$DT_{MI} = (Q_{TOT} \times DT_I - Q_{MA} \times DT_{MA}) / Q_{MI} \quad (2.6)$$

Variabel masukan adalah arus total Q_{TOT} (smp/jam), tundaan lalu lintas simpang DT_I , arus jalan utama Q_{MA} , tundaan lalu lintas jalan utama DT_{MA} , dan arus jalan minor Q_{MI} .

2.5.3.4. Tundaan Geometrik Simpang (DG)

Tundaan geometrik simpang adalah tundaan geometrik rata-rata seluruh kendaraan bermotor yang masuk simpang. DG dihitung dari rumus berikut

Untuk $DS < 1,0$

$$DG = (1 - DS) \times (P_T \times 6 + (1 - P_T) \times 3) + DS \times 4 \text{ (det/smp)} \quad (2.7)$$

Untuk $DS \geq 1,0 : DG = 4$

Dimana

DG = Tundaan geometrik simpang.

DS = Derajat kejenuhan.

P_T = Rasio belok total.

2.5.3.5. Tundaan Simpang (D)

Tundaan simpang dihitung sebagai berikut

$$D = DG + DT_I \quad (2.8)$$

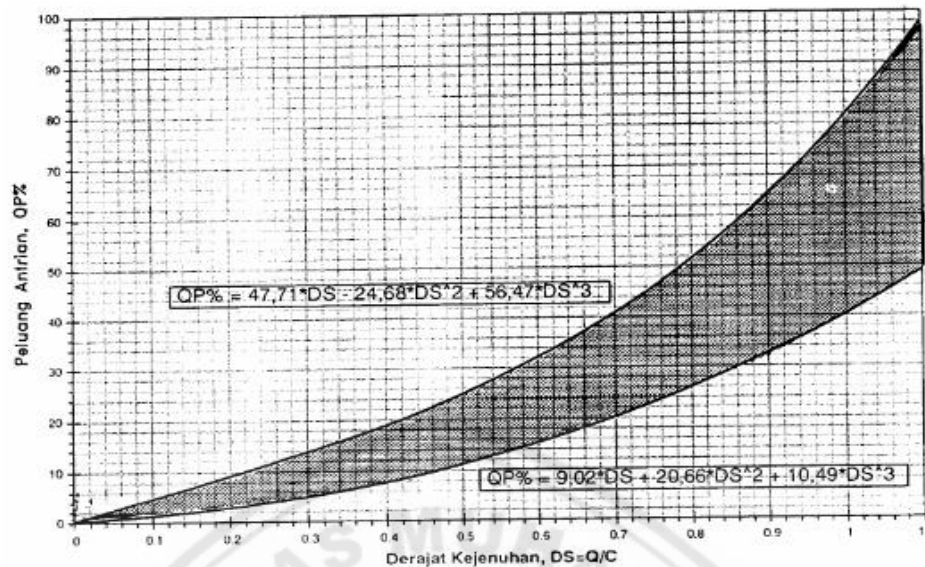
dimana :

DG = Tundaan geometrik simpang.

DT_I = Tundaan lalu lintas simpang.

2.5.4. Peluang Antrian

Rentang nilai peluang antrian ditentukan dari hubungan empiris antara peluang antrian dan derajat kejenuhan. Variabel masukan adalah derajat kejenuhan.



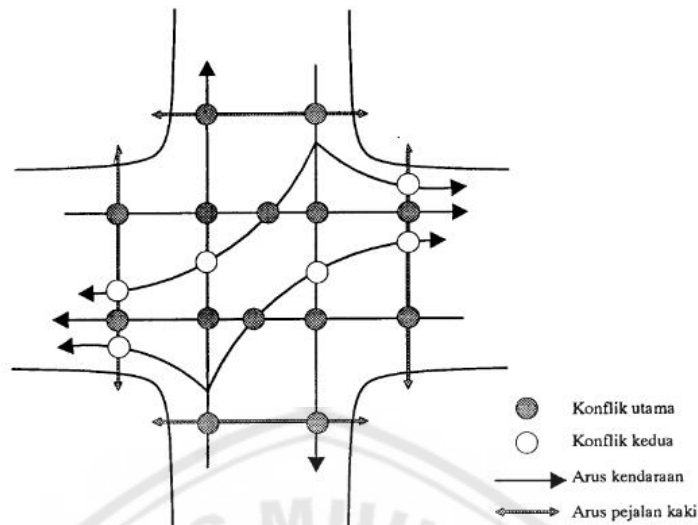
Gambar 2.7 Rentang Peluang Antrian (QP%) Terhadap DS

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

2.6 Simpang Bersinyal

Simpang-simpang bersinyal merupakan bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai atau sinyal aktual kendaraan terisolir. Simpang bersinyal biasanya memerlukan metode dan perangkat lunak khusus dalam analisisnya.

Kapasitas simpang dapat ditingkatkan dengan menerapkan aturan prioritas sehingga simpang dapat digunakan secara bergantian. Pada jam-jam sibuk hambatan yang tinggi dapat terjadi, untuk mengatasi hal itu pengendalian dapat dibantu oleh petugas lalu lintas namun bila volume lalu lintas meningkat sepanjang waktu diperlukan sistem pengendalian untuk seluruh waktu (*fulltime*) yang dapat bekerja secara otomatis. Pengendalian tersebut dapat digunakan alat pemberi isyarat lalu lintas (*traffic light*) atau sinyal lalu lintas.



**Gambar 2.8 Konflik-konflik Utama dan Kedua pada
Simpang Bersinyal dengan 4 Lengan**
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Menurut MKJI (1997), pada umumnya sinyal lalu lintas dipergunakan untuk beberapa alasan berikut:

1. Untuk menghindari kemacetan sebuah simpang oleh arus lalu lintas yang berlawanan, sehingga kapasitas simpang dapat dipertahankan selama keadaan lalu lintas puncak.
2. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh tabrakan antara kendaraan-kendaraan yang berlawanan arah. Pemasangan sinyal lalu lintas dengan alasan keselamatan lalu lintas umumnya diperlukan bila kecepatan kendaraan yang mendekati simpang sangat tinggi dan/atau jarak pandang terhadap gerakan lalu lintas yang berlawanan tidak memadai yang disebabkan oleh bangunan-bangunan atau tumbuh-tumbuhan yang dekat pada sudut-sudut simpang.
3. Untuk mempermudah menyeberangi jalan utama bagi kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan minor.

Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) menguraikan metodologi untuk analisa simpang bersinyal yang didasarkan pada prinsip-prinsip utama sebagai berikut :

2.6.1 Data Masukan

2.6.1.1 Kondisi Geometrik

Kondisi geometrik digambarkan dalam bentuk gambaran sketsa yang memberikan informasi lebar jalan, lebar bahu dan lebar median serta petunjuk arah untuk tiap lengan simpang.

2.6.1.2 Kondisi Arus Lalu-lintas

Arus lalu lintas (Q) untuk setiap gerakan dikonversi dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan:

**Tabel 2.9 Ekivalen Kendaraan Penumpang
Pendekat Terlindung dan Terlawan**

Jenis Kendaraan	emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Perhitungan masing-masing pendekat rasio kendaraan belok kiri P_{LT} , dan rasio belok kanan P_{RT} untuk arus LT dan RT dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$LT = \frac{LT \left(\frac{smp}{jam} \right)}{Total \left(\frac{smp}{jam} \right)} \quad (2.9)$$

$$RT = \frac{RT \left(\frac{smp}{jam} \right)}{Total \left(\frac{smp}{jam} \right)} \quad (2.10)$$

dimana :

LT = arus lalu lintas belok kiri

RT = arus lalu lintas belok kanan

Untuk perhitungan rasio kendaraan tak bermotor dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_{UM} = Q_{UM}/Q_{MV} \quad (2.11)$$

dimana :

Q_{UM} = arus kendaraan tak bermotor (kend/jam)

Q_{MV} = arus kendaraan bermotor (kend/jam)

2.6.2 Penggunaan Sinyal

2.6.2.1 Fase sinyal

Jumlah fase yang baik adalah fase yang menghasilkan kapasitas besar dan rata-rata tundaan rendah. Bila arus belok kanan dari satu kaki dan arus belok kanan kaki lawan arah terjadi pada fase yang sama, arus ini dinyatakan sebagai *opposed*. Sedangkan arus belok kanan yang dipisahkan fasenya dengan arus lurus atau belok kanan tidak diijinkan, maka arus ini dinyatakan sebagai *protected*.

2.6.2.2 Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang

Untuk analisa operasional dan perencanaan, disarankan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antar hijau untuk waktu pengosongan dan waktu hilang. Pada analisa yang dilakukan bagi keperluan perancangan, waktu antar hijau berikut (kuning + merah semua) dapat dianggap sebagai nilai normal :

Tabel 2.10 Waktu Antar Hijau untuk Simpang Bersinyal

Ukuran Simpang	Rata-rata Lebar Jalan	Nilai Normal Waktu Antar Hijau
Kecil	6-9 m	4 detik/fase
Sedang	10-14 m	5 detik/fase
Besar	> 15 m	> 6 detik/fase

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Titik konflik kritis pada masing-masing fase (i) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua terbesar :

$$\text{MERAH SEMUA}_i = [(L_{EV} + I_{EV})/V_{EV} - L_{AV}/V_{AV}]_{\max} \quad (2.12)$$

dimana :

L_{EV}, L_{AV} = jarak dari garis henti ke titik konflik untuk masing-masing kendaraan yang berangkat dan yang datang (m)

I_{EV} = panjang kendaraan yang berangkat (m)

V_{EV} , V_{AV} = kecepatan masing-masing kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/det)

Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{EV} , V_{AV} , I_{EV} tergantung dari kondisi komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan pada simpang. Nilai-nilai sementara yang dapat digunakan sesuai peraturan Indonesia di bawah ini.

- Kecepatan kendaraan yang datang, V_{AV} : 10 m/det (kend.bermotor)
- Kecepatan kendaraan yang berangkat, V_{EV} : 10 m/det (kend.bermotor)
3m/det (kend.tak bermotor)
1,2 m/det (Pejalan Kaki)
- Panjang kendaraan yang berangkat, L_{EV} : 5 m (LV atau HV)
2 m (MC atau UM)

Apabila periode merah semua untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, waktu hilang (LTI) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau :

$$LTI = (MERAH\ SEMUA + KUNING)_j = IG_j \quad (2.13)$$

Periode waktu kuning pada sinyal lalu lintas di perkotaan Indonesia biasanya adalah 3,0 detik.

2.6.3 Penentuan Waktu Sinyal

2.6.3.1 Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat (W_e) dari setiap pendekat berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{MASUK}) dan lebar keluar (W_{KELUAR})

2.6.3.2 Arus Jenuh Dasar

Untuk pendekat terlindung arus jenuh dasar ditentukan sebagai fungsi dari lebar efektif pendekat (W_e) :

$$S_0 = 600 \times W_e \text{ smp/jam hijau} \quad (2.14)$$

2.6.3.3 Faktor Penyesuaian

a) Faktor penyesuaian ukuran kota

Tabel 2.11 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

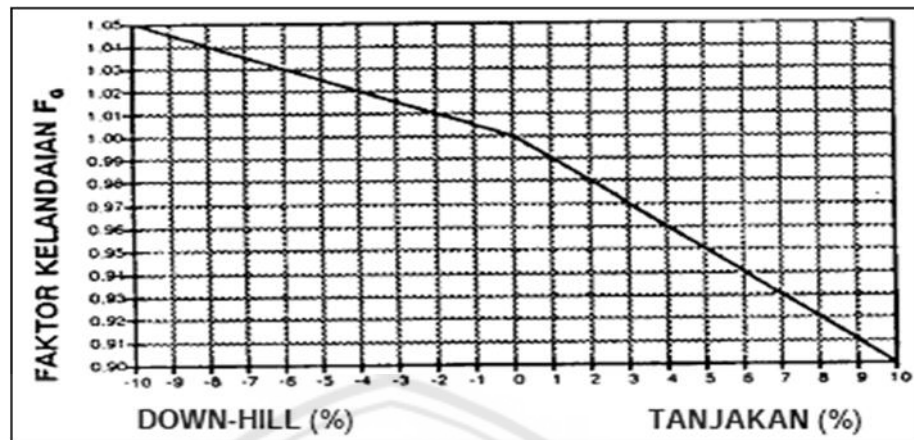
- b) Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{SF}), merupakan fungsi dari tipe lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasi kendaraan tak bermotor. Jika gangguan samping tidak diketahui dapat diasumsikan nilai yang tinggi agar tidak terjadi over estimate untuk kapasitas. Faktor ini dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.12

Tabel 2.12 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Komersial (<i>COM</i>)	Tinggi	Terlawan (O)	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung (P)	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan (O)	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung (P)	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan (O)	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung (P)	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (<i>RES</i>)	Tinggi	Terlawan (O)	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung (P)	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan (O)	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung (P)	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan (O)	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung (P)	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (<i>RA</i>)	T/S/R	Terlawan (O)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung (P)	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

c) Faktor penyesuaian kelandaian, dapat ditentukan dari gambar 2.9



Gambar 2.9 Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_g)

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

d) Faktor penyesuaian parkir (F_p), adalah jarak dari garis henti ke kendaraan yang parkir pertama dan lebar *approach* ditentukan dari formula di bawah ini atau diperlihatkan dalam gambar 2.11

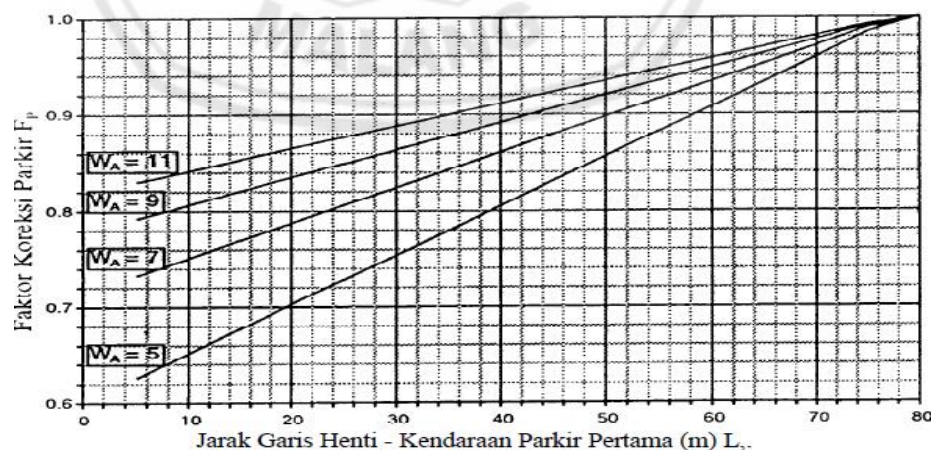
$$F_p = (L_p/3 - (W_A - 2) \times (L_p/3 - g) / W_A) / g \quad (2.15)$$

dengan :

L_p = jarak antara garis henti dan kendaraan yang parkir pertama.

W_A = Lebar *approach* (m)

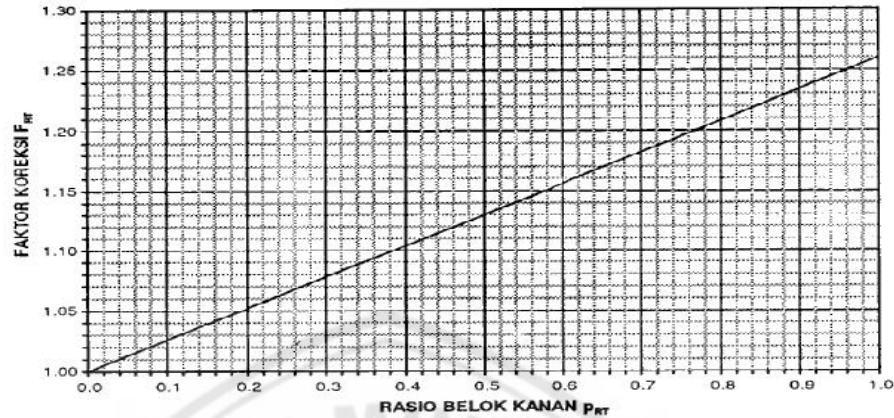
g = waktu hijau *approach* yang bersangkutan (detik)



Gambar 2.10 Faktor Penyesuaian Parkir (F_p)

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

- e) Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}), ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan P_{RT} .

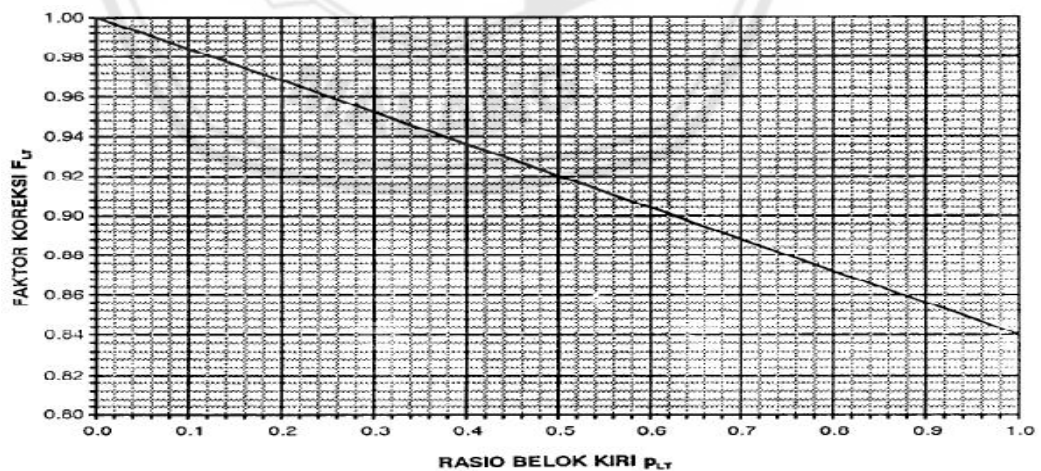


Gambar 2.11 Rasio Belok Kanan (P_{RT})

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

Catatan : Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) hanya berlaku untuk pendekat tipe arus terlindung, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

- f) Faktor penyesuaian belok kiri (F_{LT}), ditentukan sebagai fungsi dari rasio belok kiri P_{LT} .



Gambar 2.12 Rasio Belok Kiri P_{LT}

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997

g) Perbandingan Arus dengan Arus Jenuh

Penghitungan perbandingan arus (Q) dengan arus jenuh (S) untuk tiap *approach* dirumuskan di bawah ini.

$$FR = Q/S \quad (2.16)$$

Perbandingan arus kritis (FR_{CRIT}) yaitu nilai perbandingan arus tertinggi dalam tiap fase. Jika nilai perbandingan arus kritis untuk tiap fase dijumlahkan, akan didapat perbandingan arus simpang.

$$IFR = (FR_{CRIT}) \quad (2.17)$$

Perhitungan perbandingan fase (phase ratio, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara FR_{CRIT} dengan IFR.

$$PR = FR_{CRIT} / IFR \quad (2.18)$$

2.6.4 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

2.6.4.1 Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

$$c = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - FR_{crit}) \quad (2.19)$$

dimana :

c = Waktu siklus sinyal (detik)

LTI = Jumlah waktu hilang per siklus (detik)

FR = Arus dibagi dengan arus jenuh (Q/S)

FR_{crit} = Nilai FR tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada suatu fase sinyal

FR_{crit} = Rasio arus simpang = jumlah FR_{crit} dari semua fase pada siklus tersebut

2.6.4.2 Waktu Hijau

$$g_i = (c - LTI) \times FR_{crit} \quad (2.20)$$

dimana :

g_i = tampilan waktu hijau pada fase i (detik)

2.6.4.3 Waktu Siklus yang Disesuaikan

$$c = g + LTI \quad (2.21)$$

2.6.5 Kapasitas

Kapasitas untuk tiap lengan simpang dihitung dengan formula dengan formula berikut :

$$C = S \times g / c \quad (2.22)$$

dengan :

C = kapasitas (smp/jam)

S = arus jenuh (smp/jam)

g = waktu hijau (detik)

c = waktu siklus yang ditentukan (detik)

Dari hasil perhitungan dapat dicari nilai derajat jenuh rumus di bawah ini:

$$DS = Q / C \quad (2.23)$$

dengan :

DS = derajat jenuh

Q = arus lalu lintas (smp/jam)

C = kapasitas (smp/jam)

2.6.6 Perilaku Lalu Lintas

Berbagai ukuran perilaku lalu lintas dapat ditentukan berdasarkan pada arus lalu lintas (Q), derajat kejenuhan (DS) dan waktu sinyal (c dan g) sebagaimana diuraikan di bawah.

2.6.6.1 Panjang Antrian

Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ_2)

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (2.24)$$

dengan

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \quad (2.25)$$

jika $DS > 0,5$; selain dari nilai itu $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (2.26)$$

dimana :

NQ_1 = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

NQ_2 = jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = derajat kejenuhan

GR = rasio hijau

c = waktu siklus (det)

C = kapasitas (smp/jam)

Q = arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/det)

Panjang antrian (QL) diperoleh dari perkalian (NQ) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m²) dan pembagian dengan lebar masuk.

$$QL = NQ_{MAX} \times \frac{2}{W M} \quad (2.27)$$

2.6.6.2 Angka Henti

Angka henti (NS), yaitu jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang, dihitung sebagai

$$NS = 0,9 \times \frac{N}{Q \times c} \times 3600 \quad (2.28)$$

dimana c adalah waktu siklus (det) dan Q arus lalu lintas (smp/jam) dari pendekat yang ditinjau.

2.6.6.3. Rasio Kendaraan Terhenti

Rasio kendaraan terhenti P_{SV} , yaitu rasio kendaraan yang harus berhenti akibat sinyal merah sebelum melewati suatu simpang, i dihitung sebagai:

$$P_{SV} = \min (NS, 1) \quad (2.29)$$

dimana NS adalah angka henti dan suatu pendekat.

2.6.6.4. Tundaan

Tundaan pada suatu simpang dapat terjadi karena dua hal:

- a) Tundaan lalu lintas (DT) karena interaksi lalu lintas dengan gerakan lainnya pada suatu simpang.

b) Tundaan geometri (DG) karena perlambatan dan percepatan saat membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti karena lampu merah.

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat j dihitung sebagai :

$$D_j = DT_j + DG_j \quad (2.30)$$

dimana

D_j = Tundaan rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

DT_j = Tundaan lalu lintas rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

DG_j = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat j dapat ditentukan dari rumus berikut (didasarkan pada Akcelik 1988):

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-G)^2}{(1-G \times D)} + \frac{N \times 3}{C} \quad (2.31)$$

dimana :

DT_j = Tundaan lalu lintas rata-rata pada pendekat j (det/smp)

GR = Rasio hijau (g/c)

DS = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam)

NQ_1 = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

Perhatikan bahwa hasil perhitungan tidak berlaku jika kapasitas simpang dipengaruhi oleh faktor-faktor “luar” seperti terhalangnya jalan keluar akibat kemacetan pada bagian hilir, pengaturan oleh polisi secara manual dan sebagainya.

Tundaan geometri rata-rata pada suatu pendekat j dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 (P_{SV} \times 4) \quad (2.32)$$

dimana

DG_j = Tundaan geometri rata-rata pada pendekat j (det/smp)

P_{SV} = Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat

P_T = Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat

Nilai normal 6 detik kendaraan belok tidak berhenti dan 4 detik untuk yang berhenti didasarkan anggapan-anggapan :

- 1) kecepatan = 40 km/jam
- 2) kecepatan belok tidak berhenti = 10 km/jam
- 3) percepatan dan perlambatan = 1,5 m/det²
- 4) kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.

